

III-171

鋼材で補強された砂の直接せん断試験

日本大学理工学部 ○正 廣田紳一 正 宮森建樹
日本大学短期大学部 正 下辺 悟

1. まえがき

Jewellら（1987）は補強材を挿入した粗粒土の直接せん断試験を行い、その結果についての詳細な検討から、補強土の強度の増分を算定する式を提案した。本研究では、曲げ剛性を有する鋼材を補強材として砂に挿入し、直接せん断試験を行って挿入角度が補強土の強度増分に及ぼす影響およびせん断中に補強材に生ずる曲げを調べた。

2. 試験装置及び試験方法

表-1 試料の物理的性質

(1) 直接せん断試験機：せん断試験機は下部可動型で、鉛直荷重は2重挺子により上部から載荷される。せん断箱の大きさは幅32.0cm、長さ40cm、高さ24cmである。

D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	U _c	U _c '	G _s
0.21mm	0.35mm	0.39mm	1.86	0.96	2.667

(2) 試料：試験に用いた砂は小瀬川砂で、水洗いにより細粒部分を取り除いた後、2.0mmふるいで粗粒部分を取り除き空気乾燥した砂を試料とした。試料の物理的性質は表-1に示す通りである。

(3) 補強材：補強材は幅2.49cm、長さ16.0cm、厚さ0.10cmの鋼板である。この鋼板をはりとして、曲げ試験を行った結果から得られた曲げ剛性は $EI = 448 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ ($E = 2.16 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$)であった。用いた補強材のうち1本には2.0cm間隔でストレインゲージを貼付し、せん断試験中に補強材に生ずるひずみの測定に供した。

(4) 試験方法：せん断箱下箱に空中落下法により試料を注入した後、せん断箱上面と一致するように試料表面をならし、補強材を所定の間隔で9本挿入した。補強材の挿入角度は 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、及び 150° の6通りとした（図-1）。補強材を挿入した後、上箱をセットし、同様に空中落下法により試料を注入して供試体を作成した。せん断試験は鉛直応力 $\sigma_y = 0.938 \text{ kgf/cm}^2$ 、せん断速度 0.5 mm/min で行った。なおせん断中に補強材に生ずるひずみの測定を行った。

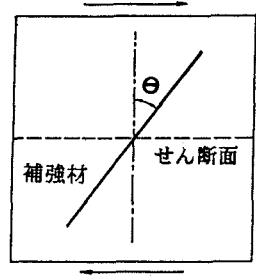


図-1 補強材の挿入方向

3. 試験結果

(1) せん断応力-水平変位関係：無補強の砂と補強された砂で挿入角度 $\theta = 30^\circ$ および 90° の場合のせん断応力-水平変位関係を図-2に示した。 $\theta = 30^\circ$ の時、せん断強さは補強土の中で最も大きく、ピーク強さ時の水平変位は無補強の場合とほぼ同様である。また体積変化は無補強の砂のそれとほぼ同じような傾向を示す。一方、補強材の方向がせん断面と一致する $\theta = 90^\circ$ の場合はせん断強さが最も小さく、ピーク強さ時の水平変位は他に較べて小さい。また体積変化、特に膨張の傾向は他に較べて小さくなっている。このような傾向は砂と補強材表面の摩擦は砂自身の摩擦より小さいこと、その摩擦抵抗が小さな相対変位で発揮されることおよび補強材が砂のせん断時の体積変化を妨げるような方向に挿入されていることを反映しているものと考えられる。

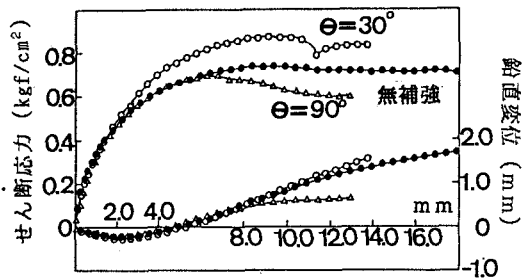


図-2 水平変位-せん断応力関係

(2) 挿入角度-せん断強さ関係：補強土の挿入角度（ θ ）と補強率（R）の関係を図-3に示した。補強率は次式で表される。

$$R = \frac{\text{補強土のせん断強さ} - \text{無補強土のせん断強さ}}{\text{無補強土のせん断強さ}}$$

この図から、 $\theta = 90^\circ$ の場合を除いて補強率は正となり、補強効果が発揮されていることがわかる。そして、その補強効果は $\theta = 30 \sim 60^\circ$ の範囲で著しくなっている。砂のせん断破壊時においては主応力方向と主ひずみ増分方向が一致するということは良く知られているが、この条件から直接せん断試験における圧縮方向を求めると $90^\circ < \theta < 168^\circ$ であり、補強材が伸張方向に配置された場合に補強効果の著しいことがわかる。また、Jewellら(1987)の提案した補強によるせん断強さ式を用いて求めた補強率を図中に破線で示した(砂の直接せん断試験から求めた内部摩擦角 $\phi_{ds} = 38.1^\circ$ 、砂と補強材との摩擦角 $\delta = 17^\circ$ とした)。 $\theta = 0^\circ \sim 60^\circ$ の範囲では実験値は計算値を若干下まわっているもののその傾向は合致している。 $\theta = 90^\circ$ の場合には補強材表面と砂との摩擦抵抗が小さいので補強率は負となるが、計算値ではせん断面から補強材の表面積を減じていないので補強率は正となっている。また $\theta = 120^\circ$ 、 150° では圧縮方向であり、計算値は θ が 150° 以上では補強率は負となっているが、いずれの場合においても実験においては補強効果が発揮されており、算定式は補強材が圧縮方向にある場合の補強効果の傾向を十分には表現していないようである。

(3) せん断中に補強材に生ずるひずみ： $\theta = 90^\circ$ の場合におけるせん断中に補強材に生じたひずみを図-4に示した。せん断中の初期においては補強材には殆どひずみは生じない。せん断の進行とともに補強材の各部にひずみが生ずるが、補強材の端部に近い部分ではひずみはせん断変位の進行とともに一定値に近づく傾向がある。補強材の端部と中央部の中間では大きなひずみが生じ、しかもそれはせん断変位の増加とともに加速度的に増大する傾向を示している。

ピーク強さ付近の水平変位時における補強材のひずみ分布を図-5に示した。補強材の挿入方向が異なっているので、ひずみの大きさをそのまま比較することはできないが、挿入方向がせん断面となす角が大きくなるほど大きなひずみが発生しており、補強材はより大きな曲げを受けていることがわかる。

4. あとがき

曲げ剛性を有する鋼材で補強した砂の直接せん断試験を行い、(1)補強材を伸張方向に挿入した方がより大きな補強効果が得られる、(2)補強材を圧縮側に挿入した場合でも補強効果が得られる、(3)補強材の挿入方向とせん断面のなす角が大きくなるほど、せん断中に補強材に生ずるひずみは大きくなるなどの結果を得た。今後は種々の補強材料について同様に試験を行い、補強のメカニズムをより明らかにしてゆきたいと考えている。

参考文献 R.A.Jewell and C.P.Wroth : Direct shear tests on reinforced sand Geotechnique, 37, N01, 53~63

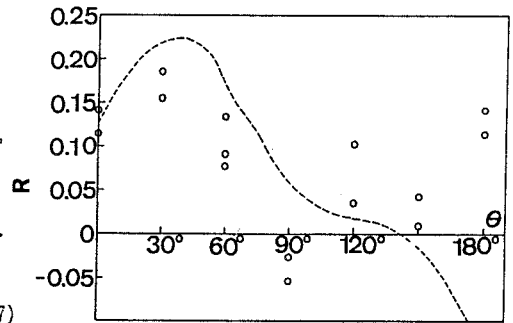


図-3 挿入角度-せん断強さ関係

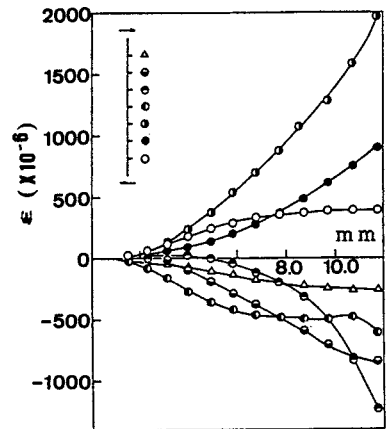


図-4 水平変位-ひずみ関係

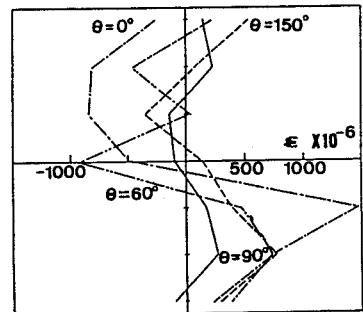


図-5 補強材のひずみ分布